

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-151963

(43)Date of publication of application : 16.06.1995

(51)Int.Cl.

G02B 13/18  
G11B 7/135

(21)Application number : 05-326156

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 30.11.1993

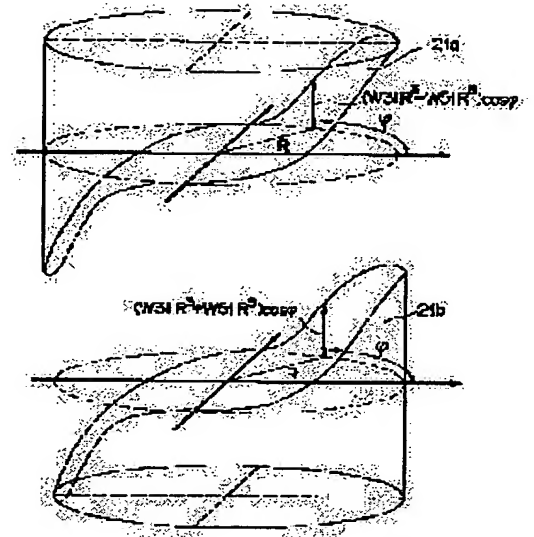
(72)Inventor : SUGANUMA HIROSHI

## (54) COMA ABERRATION CORRECTION DEVICE

### (57)Abstract:

PURPOSE: To almost perfectly correct and remove coma aberration generally caused in an optical equipment.

CONSTITUTION: A pair of correction elements 21a and 21b is respectively provided with an asymmetrical and aspherical surface at the lower surface part and the upper surface part. Besides, the pair of elements 21a and 21b is provided with such a shape that a cylindrical curved member is symmetrically cut into two of upper and lower parts at the tertiary and the quintic curved surfaces and respectively provided with the identical shape. By the coma aberration caused by turning the elements 21a and 21b around an optical axis, the coma aberration of an optical system is cancelled and corrected.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 17.11.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 21.10.2003

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-151963

(43) 公開日 平成7年(1995)6月16日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 13/18		9120-2K		
G 1 1 B 7/135	Z	7247-5D		

審査請求 未請求 請求項の数 2 F D (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平5-326156

(22) 出願日 平成5年(1993)11月30日

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 菅沼 洋

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

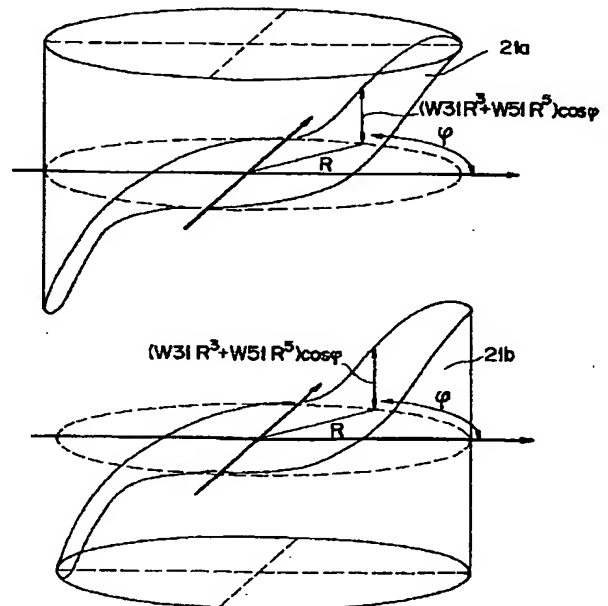
(74) 代理人 弁理士 小池 晃 (外2名)

(54) 【発明の名称】 コマ収差補正装置

(57) 【要約】

【目的】 光学機器一般に発生するコマ収差をほぼ完全に補正して取り除く。

【構成】 一对の補正素子21a、21bは、それぞれ下面部及び上面部に非対称の非球面形状を有している。これら一对の補正素子21a、21bは、円筒部材を3次及び5次の曲面で対称に上下2つに切断した形状を有しており、それぞれ同一の形状を有する。これら補正素子21a、21bを光軸回りに回動させることにより発生するコマ収差により、光学系のコマ収差を相殺して補正する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 各々非対称非球面形状の面を有し、光学系中に配設される一対の補正光学素子と、

上記各補正光学素子を上記光学系の光軸回りに回転駆動する駆動手段とを備え、

上記一対の補正光学素子が上記駆動手段により互いに相対的に回転駆動されることにより発生するコマ収差により上記光学系の発生するコマ収差を補正してなるコマ収差補正装置。

【請求項2】 一対の補正光学素子は、光学ピックアップ装置の光学系を構成する対物レンズと光源との間に配設されてなる請求項1記載のコマ収差補正装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光学機器の光学系において発生するコマ収差を補正するコマ収差補正装置に関する。特に、情報記録媒体となる光ディスクに対して情報信号の書き込み及び／又は読み出しを行う光学ピックアップ装置の光学系において発生するコマ収差を補正するのに好適なコマ収差補正装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来、略々あらゆる光学機器の設計において、球面収差とコマ収差を除去することが必須とされている。いわゆるアッペの正弦条件により、コマ収差を抑えることに対する多くの設計指針を得ることが可能となったが、現在のところ、このコマ収差量を自在に最小値に抑えて最適化することは非常に困難な状況にある。

【0003】ところで、光ディスクプレーヤ装置を構成する光学ピックアップ装置は、光ディスク上に情報信号の書き込み及び／又は読み出しを行う装置であって、該光ディスクの回転に伴うディスク面の振れや記録トラックのトラック幅方向の振れを検出し、これらの振れに常に一定の誤差内において自動的に追従する機能を有している。

【0004】例えば、従来の光学ピックアップ装置は、光源であるレーザダイオードと、コリメータレンズ、ビームスプリッタ、 $\lambda/4$ 板、対物レンズ、検出レンズとなるマルチレンズ及び光検出器であるフォトダイオードとから構成されている。

【0005】上記レーザダイオードから発せられた直線偏光の拡散射出光束は、上記コリメータレンズを通して平行光線となされ、上記ビームスプリッタを透り、上記 $\lambda/4$ 板において円偏光となされる。そして、この光束は、回折格子を経て、上記対物レンズで、上記光ディスク上に集光される。その後、この集光された光は光ディスクで強度変調を受け、反射して再び上記対物レンズに入射する。この光束は、再び上記 $\lambda/4$ 板を通過して直線偏光となされ、上記ビームスプリッタで直角に反射され、上記マルチレンズを通過して上記フォトダイオードに入る。このフォトダイオードにおいて入射光の情報は

電気信号に変換されてフォーカスエラー信号及びトラッキングエラー信号となされ、各種サーボ機構による補正の基となる信号となる。

【0006】上述の光ディスク装置においては、いわゆるコンパクトディスクに代表されるように、1.2mm程度の厚みを有する透明基板を介して反射面に記録されている信号を読み取り再生する。ここで、上記光ディスクを上記対物レンズの光軸に対して傾けると、この対物レンズの開口数NAの約3乗以上の係数とディスクスキューの量及び方向とに応じて3次以上のコマ収差が発生し、この光ディスクよりの再生信号は、著しい劣化を生ずることとなる。

【0007】従来、このようなコマ収差を抑える装置としては、光学ピックアップ装置全体をディスクスキュー量に応じて傾ける構成を採用しているために、装置が大がかりであり補正可能なコマ収差の帯域も非常に狭いものである。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】ところで、近時では、コンピュータ用の情報記録装置や音楽、画像情報のパッケージメディアとしての光ディスクの高密度化が進んでいる。この高密度化の1つの方法として、対物レンズの開口数NAを従来の光学ピックアップ装置のものより大きくする技術がある。これは一般に光学ピックアップ装置のハイNA化と称されている。

【0009】しかしながら、対物レンズの開口数NAを大きくすると、上述のようにコマ収差がNAの3乗以上に比例して増大するため、良質の再生信号を得ることが困難となる。上記コマ収差を抑えるためには、上述のようにこのコマ収差が光ディスクのディスクスキューの量及び方向にも関係するので、このディスクスキュー量を抑えることが必須となる。従って、再生信号の質を落とさずに上記ハイNA化により光ディスクの高密度化を実現させようとするれば、必然的に光ディスクの傾きの許容範囲が狭まることとなる。

【0010】また、光学ピックアップ装置以外の光学機器の光学系においても、現在のところ、このコマ収差をほぼ完全に抑える小型且つ簡易機構を有するコマ収差補正装置は存在しないというのが現状である。

【0011】本発明は、上述の課題に鑑みて提案されたものであり、光学機器一般に発生するコマ収差をほぼ完全に補正して取り除くことができ、小型で簡潔な構造を有してしかもあらゆる光学機器の光学系に適用可能なコマ収差補正装置を提供することを目的とする。

## 【0012】

【課題を解決するための手段】上述の課題を解決し、上記目的を達成するため、本発明に係るコマ収差補正装置は、各々非対称非球面形状の面を有し光学系中に配設される一対の補正光学素子と、これら補正光学素子を該光学系の光軸回りに回転駆動する駆動手段とを備え、上記

一对の補正光学素子が上記駆動手段により互いに相対的に回転駆動されることにより発生するコマ収差により、上記光学系の発生するコマ収差を補正してなるものである。

【0013】また、本発明は、上述のコマ収差補正装置において、一对の補正光学素子は、光学ピックアップ装置の光学系を構成する対物レンズと光源との間に配設さ

$$W(R, \phi) = (W_{31}R^3 + W_{51}R^5) \cos \phi \quad \dots (1)$$

【0015】ここで、Rは極座標半径、 $\phi$ は極座標方位、 $W_{31}$ 及び $W_{51}$ は3次及び5次のコマ収差に比例する曲率係数を表す。これらの係数は、幾何光学的な光線追跡には殆ど影響を与えない程度の微小な量である。なお、この(1)式では、一对の補正光学素子の表面がそれぞれ非対称非球面形状として極座標半径Rについて3次及び5次の曲面で設計されたものを表しているが、上記表面が更に高次の曲面或はそれらの線形結合で示す曲面として一对の補正光学素子を設計することも可能である。

【0016】先ず、表面が上述の曲面で設計されている※

$$\begin{aligned} D_{\pm}(r, \phi) &= (N-1)(W_{31}r^3 + W_{51}r^5) \{ \cos(\phi + \theta) - \cos(\phi - \theta) \} \\ &= \{ 2(N-1)(W_{31}r^3 + W_{51}r^5) \sin \theta \} \sin \phi \\ &= \{ 2(N-1)W_{31}r^3 \sin \theta \} \sin \phi \\ &\quad + \{ 2(N-1)W_{51}r^5 \sin \theta \} \sin \phi \quad \dots (2) \end{aligned}$$

【0019】ここで、Nは補正光学素子の屈折率である。方位90度における3次及び5次のコマ収差の波面はそれぞれ $r^3 \sin \phi$ 及び $r^5 \sin \phi$ で表される。従って、(2)式に示されるように、上記一对の補正光学素子の回転角 $\pm \theta$ の値を調節することで3次及び5次のコマ収差を発生させることが可能となる。

【0020】このことを利用して、これら一对の補正光学素子を、3次及び5次のコマ収差を有する光学機器に配設し、駆動手段により互いに逆方向に所定角 $\pm \theta$ 回転させることで、この光学機器の有する3次及び5次のコマ収差と同じ大きさで逆極性(正負が逆)のコマ収差が発生する。すると、上記光学機器の光学系が発生するコマ収差と上記一对の補正光学素子により発生したコマ収差とが互いに丁度相殺されて打ち消され、その結果として上記光学系の有するコマ収差がほぼ完全に補正されることとなる。

【0021】なお、ここでは光学機器が3次及び5次のコマ収差を有するものとして、このコマ収差が補正される場合を示したが、更に高次のコマ収差或はそれらの線形結合で示されるコマ収差を有する光学機器に対処するには、上述のように上記一对の補正光学素子の表面形状をこれらのコマ収差に適合するように最適化設計することで、同様にこれらのコマ収差がほぼ完全に補正されることとなる。

【0022】また、上記光学系に発生するコマ収差の発生方向が限定されているときには、上記補正光学素子の

＊れてなることとしたものである。

【0014】

【作用】本発明に係るコマ収差補正装置においては、一对の補正光学素子の表面は、例えば、それぞれ以下の(1)式に示されるような非対称非球面形状とされている。

※各々同一形状の2基の補正光学素子に向い合う上記曲面が丁度重なるように配設する。平行光の入射に対しては、瞳面内の任意の位置において上記一对の補正光学素子の合計の厚みは同一であるので、この初期状態では透過光の波面に変化は生じない。ここで、上記表面の曲率は微小なものであるためパワーは無視できる。

【0017】上記初期状態から、一对の補正光学素子を互いに逆方向に $\pm \theta$ 回転させる。このとき生じる光路差Dは以下の(2)式で示される。

【0018】

回転方位の誤差を多少犠牲にして、1基のみの補正光学素子により補正を実行することが可能である。すなわち、1基の補正光学素子を光学機器の有するコマ収差の方位近傍に固定して上記駆動手段によりこの補正光学素子を所定角度回転させる。上記曲率係数 $W_{31}$ 及び $W_{51}$ は任意に設計段階で選べるパラメータであるので、これを十分大きくしておくことで回転角の大きさを小さくすることが可能となり、方位方向のずれによって生じる収差が十分抑えられて、且つ上記光学機器のコマ収差がほぼ完全に修正されることとなる。

【0023】また、本発明に係るコマ収差補正装置においては、上記一对の補正光学素子が光学ピックアップ装置の光学系を構成する対物レンズと光源との間に配設されているので、入射光の回折や吸収が最小限に抑えられて透過率が向上させつつ、コマ収差の補正を行うことができる。

【0024】

【実施例】以下、本発明に係るコマ収差補正装置を光ディスクプレーヤシステムの光学ピックアップ装置に適用した具体的な実施例について、図面を参照しながら詳細に説明する。なお、上記光学ピックアップ装置の光学系が有するコマ収差は3次及び5次のコマ収差であるとする。

【0025】上記光学ピックアップ装置は、図1に示すように、光源であるレーザダイオード1と、コリメータレンズ2、ビームスプリッタ3、 $\lambda/4$ 板4、回折格子

5、対物レンズ6、マルチレンズ（検出レンズ）7、光検出器であるフォトダイオード8とから構成されている。

【0026】上記レーザダイオード1から発せられる直線偏光の拡散射出光束は、コリメータレンズ2を通過して平行光線となされ、補正光学素子21b、21a、ビームスプリッタ3を透過し、λ/4板4において円偏光とされる。この光束は、回折格子5を経て、対物レンズ6により、光ディスク9上に集光される。その後、この集光された光束は、光ディスク9で強度変調を受け、反射して再び対物レンズ6に入射する。そして再び回折格子5及びλ/4板4を通過して直線偏光とされ、ビームスプリッタ3で直角に反射され、マルチレンズ7を通過して上記フォトダイオード8に入る。このフォトダイオード8において入射光の情報は、電気信号に変換されて、光ディスクプレーヤにおける各種サーボ機構部において用いられるフォーカスエラー信号及びトラッキングエラー信号の基となる信号となされる。

$$W_{31} = (t/2) \{ (N^2 - 1) / N^3 \} \psi NA^3 \quad \dots (3)$$

【0030】

$$W_{51} = (t/8) \{ (N^2 - 1) (N^2 + 3) / N^5 \} \psi NA^5 \quad \dots (4)$$

【0031】ここで、tは光ディスク9の厚み、Nは該光ディスク9の屈折率、NAは対物レンズ6の開口数である。このように、ディスクスキュー量ψに比例して発生するコマ収差係数W<sub>31</sub>及びW<sub>51</sub>は、更に開口数NAの増加に伴って増大するため、光ディスクに記録される情報信号の高密度化を図るために近時盛んに推進されているいわゆるハイNA化を実行する際の大きな障害となっている。

【0032】上記一対の補正光学素子21a、21bは、図2に示すように、それぞれ下面部及び上面部が上記(1)式で表される非対称の非球面形状となされている。すなわち、これら一対の補正光学素子21a、21bは、円筒部材を上記(1)式で表される3次及び5次の曲面で対称に上下2つに切断したものであり、それぞれ同一の形状を有するものである。

【0033】これら一対の補正光学素子21a、21bは、各々の非対称非球面形状の曲面が丁度重なり合っている状態では単なる円筒形状の部材であり、平行入射光に対し透過光の波面に変化は生じない。ここで、上記表面の曲率は微小なものであるためパワーは無視できる。

【0034】そして、上記駆動手段22により、図3に示すように、一対の補正光学素子21a、21bを、光学系の光軸回りに互いに逆方向に同一角度回転させると、平行入射光の波面L<sub>e</sub>に対し透過光の波面L<sub>t</sub>が上記(2)式で表されるように3次及び5次の各々のコマ収差に比例したものとなる。そこで、これら駆動手段22により、一対の補正光学素子21a、21bを互いに逆方向に所定角±θ回転させることで、上記光学ピックアップ装置の有する3次及び5次のコマ収差と同じ大き

\*【0027】この光学ピックアップ装置においては、レーザダイオード1と対物レンズ6との間、例えば、該レーザダイオード1と上記ビームスプリッタ2との間に、本発明に係るコマ収差補正装置が配設されている。このコマ収差補正装置は、一対の補正光学素子21a、21bと、この一対の補正光学素子21a、21bを回転駆動させる駆動手段22とから構成されている。そして更に、この実施例では、光ディスクプレーヤシステムにおける光ディスク9のディスクスキューを検出するためのディスクスキューセンサ23がこの光ディスク9の近傍に設けられている。

【0028】ところで、上記光学ピックアップ装置においては、光ディスク9の水平面からの傾き量であるディスクスキュー量ψに比例してコマ収差が発生する。すなわち、ディスクスキュー量ψに比例して発生する3次及び5次のコマ収差係数W<sub>31</sub>及びW<sub>51</sub>は、以下の(3)式及び(4)式で示される。

\*【0029】

さで逆極性（正負が逆）の3次及び5次のコマ収差が発生される。これにより、これらのコマ収差が互いに丁度相殺されて打ち消され、結果として上記光学ピックアップ装置の光学系が有する3次及び5次のコマ収差が補正される。

【0035】なお、本実施例では、上記光学ピックアップ装置の有するコマ収差は3次及び5次のコマ収差であるとしたが、上記光学ピックアップ装置が更に高次のコマ収差を有する場合では、それに適合するように設計段階において一対の補正光学素子21a、21bの曲面形状を最適化することで上記高次のコマ収差を補正することが可能である。

【0036】光ディスク9のディスクスキューに比例して発生するコマ収差の補正機構としては、図1に示すように、先ず、光ディスク9のディスクスキュー量ψがディスクスキューセンサ23によって検出される。このディスクスキュー量ψの大きさに応じて、一対の補正光学素子21a、21bが駆動手段22により互いに逆方向に所定角±θ回転操作されることで、ディスクスキュー量ψに比例して上記光学ピックアップ装置に発生するコマ収差が補正される。

【0037】上記ディスクスキューセンサ23は、いわゆる光挺子を応用したものであり、図4及び図5に示すように、LED（発光素子）31と、2分割フォトディテクタ32と、これらLED31及び2分割フォトディテクタ32をインモールドしているレンズ33とで構成されている。

【0038】このディスクスキューセンサ23では、LED31から出た光が光ディスク9上で反射し、この反

射光が2分割フォトディテクタ32上に結像する。ここで、光ディスク9に傾きが生じると、上記反射光による2分割フォトディテクタ32上の結像がこの2分割フォトディテクタ32上で移動する。このディスクスキューセンサ23では、この2分割フォトディテクタ32の差動量が光ディスク9の傾き量に概ね比例することを利用して、光ディスク9のディスクスキューを検出する。

【0039】このディスクスキューセンサ23からの出力信号を示す特性曲線においては、ディスクスキュー量が約 $-3^{\circ}$ 及至 $+3^{\circ}$ の範囲では、この特性曲線の傾きがほぼ直線となるリニアリティのある範囲であり、この範囲内の信号が上記出力信号として用いることができる。このディスクスキューセンサ23をトラック方向及びトラック幅方向に配設することにより、ディスクスキューを検出することができる。

【0040】ここで、このディスクスキューセンサ23は、2分割フォトディテクタ32の代わりに4分割フォトディテクタを用いてトラック方向及びトラック幅方向の2方向を同時に検出するように構成してもよい。

【0041】なお、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、例えば一對の補正光学素子21a、21bについては、その非対称非球面形状の代わりとして、いわゆるバイナリ形状に形成されたものを用いてもよい。また、ホログラフィーを用いて、上記実施例の一對の補正光学素子21a、21bと同等の透過光波面の変換機能を有する補正光学素子を実現することも可能である。また更に、上記実施例の一對の補正光学素子21a、21bと同等の透過光波面の変換機能を有するミラーを組み合わせることで一對の補正光学素子21a、21bと同様の機能を提供することも可能である。

【0042】本発明に係るコマ収差補正装置においては、一對の補正光学素子21a、21bを、光学ピックアップ装置の光学系中に配設し、駆動手段22により互いに逆方向に所定角度回転させることで、光ディスク9のディスクスキュー量に比例して発生するコマ収差と同じ大きさで逆極性（正負が逆）のコマ収差が発生する。すると、上記光学ピックアップ装置の光学系のコマ収差と一對の補正光学素子21a、21bにより発生したコマ収差とが互いに丁度相殺されて打ち消され、その結果として該光学系の有するコマ収差がほぼ完全に補正されることとなる。

【0043】また、上記光学ピックアップ装置に発生するコマ収差の発生方向が限定されているときには、上記補正光学素子21a、21bの回転方位の誤差を多少犠牲にして、1基のみの補正光学素子により補正を実行することが可能である。すなわち、1基の補正光学素子21aまたは21bを上記光学ピックアップ装置の有するコマ収差の方位近傍に固定して駆動手段22によりこの補正光学素子21aまたは21bを所定角度回転させる。上記曲率係数 $W_{11}$ 及び $W_{12}$ は任意に設計段階で選べ

るパラメータであるので、これを十分大きくしておくことで回転角の大きさを小さくすることが可能となり、方位方向のずれによって生じる収差が十分抑えられて、且つ上記光学ピックアップ装置のコマ収差がほぼ完全に修正されることとなる。

【0044】また、上述の実施例におけるコマ収差補正装置においては、上記一對の補正光学素子21a、21bが上記光学ピックアップ装置のビームスプリッタ3と光源であるレーザダイオード1との間に配設されているので、入射光の回折や吸収が最小限に抑えられて透過率が向上することとなる。

【0045】このように、本発明に係るコマ収差補正装置によれば、光ディスク9の回転に連動、追従した高帯域の補正が可能であり、しかも、対物レンズ6の開口数が多い場合でもディスクスキューによって発生するコマ収差による再生波形の歪みを光学的に補正でき、ディスクスキューの許容範囲を大きくすることが可能となるので、低コストの光ディスクを用いて高密度ディスク記録システムを実現することが可能となる。

【0046】

【発明の効果】本発明に係るピックアップ装置によれば、各々非対称非球面形状を有する一對の補正光学素子と、前記一對の補正光学素子を回転駆動させる駆動手段とを備え、前記一對の補正光学素子が上記駆動手段により光学系の光軸回りに互いに相対的に回転駆動されることでコマ収差を発生させるので、光学機器一般の光学系に発生するコマ収差をほぼ完全に補正して取り除くことができ、あらゆる光学機器の光学系に適用可能であって、しかも、小型で簡潔な構造を有している。

【0047】また、本発明によれば、補正光学素子を光学ピックアップ装置の光学系を構成する対物レンズと光源との間に配設して構成したので、透過率を向上させつつ、コマ収差を完全に補正して取り除くことが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るコマ収差補正装置を適用した光学ピックアップ装置の構成を示す模式的側面図である。

【図2】本発明に係るコマ収差補正装置の構成要素である一對の補正光学素子を模式的に示す斜視図である。

【図3】本発明に係るコマ収差補正装置の構成要素である一對の補正光学素子を互いに逆方向に所定角度回転させた様子を模式的に示す斜視図である。

【図4】上記光学ピックアップ装置のディスクスキューセンサを模式的に示すブロック図である。

【図5】上記ディスクスキューセンサの作動原理を示す模式図である。

【符号の簡単な説明】

1・・・レーザダイオード

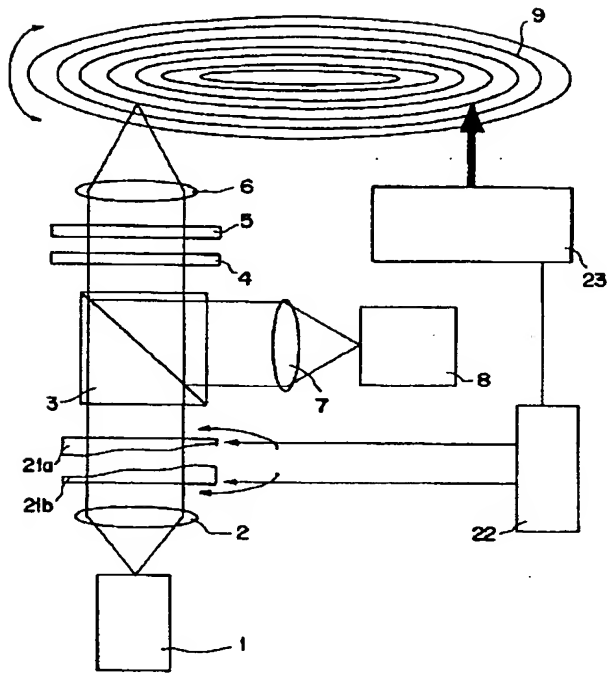
2・・・コリメータレンズ

3・・・ビームスプリッタ

- 4・・・ $\lambda/4$ 板  
 5・・・回折格子  
 6・・・対物レンズ  
 7・・・マルチレンズ  
 8・・・フォトダイオード

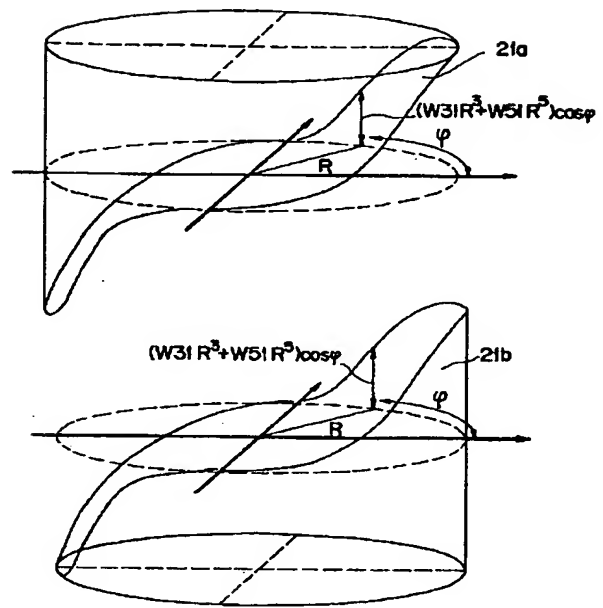
\*

【図1】

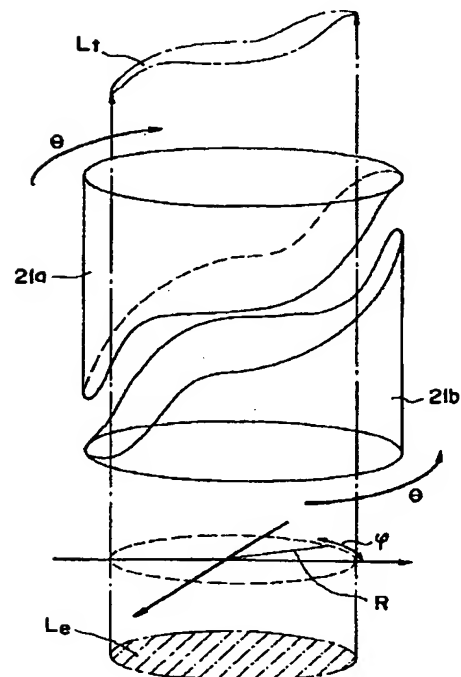


- \* 9・・・光ディスク  
 21a, 21b・・・補正光学素子  
 22・・・駆動手段  
 23・・・ディスクキューセンサ

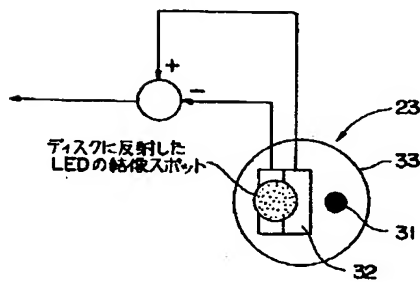
【図2】



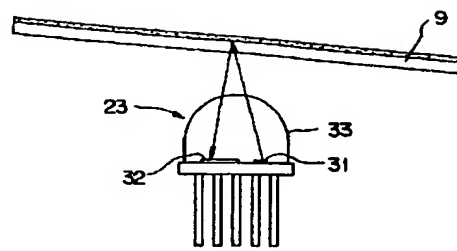
【図3】



【図4】



【図5】



【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載  
【部門区分】第6部門第2区分  
【発行日】平成13年9月21日(2001. 9. 21)

【公開番号】特開平 7-151963  
【公開日】平成7年6月16日(1995. 6. 16)  
【年通号数】公開特許公報 7-1520  
【出願番号】特願平 5-326156  
【国際特許分類第7版】

G02B 13/18

G11B 7/135

【F I】

G02B 13/18

G11B 7/135 Z

【手続補正書】

【提出日】平成12年11月17日(2000. 11. 17)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0015

【補正方法】変更

【補正内容】

【0015】ここで、Rは極座標半径、 $\phi$ は極座標方

位、 $W_3$ 、 $W_5$ 、及び $W_7$ は3次及び5次のコマ収差に比例する曲率係数を表す。なお、この(1)式では、一对の補正光学素子の表面がそれぞれ非対称非球面形状として極座標半径Rについて3次及び5次の曲面で設計されたものを表しているが、上記表面が更に高次の曲面域はそれらの線形結合で示す曲面として一对の補正光学素子を設計することも可能である。